

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**ПРОГРАМА, МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ,  
КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ  
З КУРСУ «ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ПРОМИСЛОВІ КОТЛИ»**

**для студентів спеціальності 7.090505  
усіх форм навчання**

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету  
протокол № X від XX. XX .XX.

Харків НТУ «ХПІ» 2011

Програма, методичні вказівки, контрольні завдання з курсу «Енергетичні та промислові котли» для студентів спеціальності 7.090505 «Котли та реактори» усіх форм навчання / Уклад.: Єфімов О. В., Тютюнник Л. І., Каверцев В.Л. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – 28 с.

Укладачі: О. В. Єфімов  
Л. І. Тютюнник  
В.Л. Каверцев

Рецензент В. Й. Касілов

Кафедра парогенераторобудування

## ПЕРЕДМОВА

Курс «Енергетичні та промислові котли» призначений для вивчення студентами сучасних котельних установок промислових підприємств. Характерною особливістю котельних установок, які розглядаються є їх зв'язок з виробничими технологічними агрегатами та системами опалювання, що здебільшого визначає їх параметри та конструктивні рішення щодо котельних установок.

Дисципліна базується на попередньому вивченні студентами курсів «Технічна термодинаміка», «Тепломасообмін», «Топкові процеси та обладнання».

У матеріалі курсу викладається фізична сутність робочих процесів в елементах і вузлах парового котла, описуються основні компоновки, різноманітні конструкції енергетичних, водогрійних та пароводогрійних котлів, які працюють як на твердому паливі, так і на газі та мазуті. Наводяться основні положення методики та вибору теплової схеми котельної установки.

Також розглядаються допоміжні прилади котельних установок, у тому числі золоуловлювання, золошлаковидалення.

Студенти повинні знати загальну характеристику та конструкцію котлів, уміти визначати маркування котельного агрегату.

З метою закріплення лекційного матеріалу проводяться практичні заняття, де студенти засвоюють методику розрахунку теплового балансу та ККД котла, набувають навичок розрахунків теплових схем котельних.

Для контролю якості навчання студенти повинні виконати контрольні роботи та курсовий проект.

Самостійна робота студентів щодо загального обсягу лекційного матеріалу передбачає вивчення багатьох питань.

Для кращого засвоєння деяких розділів курсу використовуються технічні засоби навчання: ПЕОМ, плакати, макети котлів.

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1. Основні положення тепlopостачання споживачів.
2. Теплові навантаження і режими споживання.

### Методичні вказівки

Матеріал цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти їх.

**Література:** [1, стор. 5–14; 3, стор. 4–17; 9, стор. 5–15].

### **Питання для самоконтролю**

1. Структура енергосистеми промислового підприємства.
2. Котельна установка в системі промислової ТЕЦ.
3. Принципова, технологічна схема котельної установки.
4. Розвиток тепло- і електроенергетики.
5. Типи котельних установок залежно від характеру теплових навантажень.
6. Категорії котельних залежно від надійності теплопостачання споживачів.
7. Мережевий графік (річний графік, добовий графік  $K_{з.г}$ ,  $K_{з.с}$ ,  $h_0$ ).
8. Графіки навантаження для опалювальної, котельної і виробничо-опалювальної котельної.
9. Типові проекти котельних.
10. Тимчасові котельні.
11. Загальна схема котла, його елементи і їх призначення

### **1. Метали та міцність елементів котла. Розрахунок елементів котла на міцність**

1. Особливості роботи металу в котельному устаткуванні.
2. Корозія сталей.
3. Вплив технології виготовлення деталей на властивості сталей.
4. Позначки марок сталей.
5. Вуглецеві сталі, які використовують в котлобудуванні.
6. Низьколеговані сталі.
7. Високолеговані сталі.
8. Спеціальні сорти сталі для котлобудування.
9. Критерії міцності металу при різних температурах.
10. Зміна властивостей та структури сталей в процесі виготовлення і роботи котельних агрегатів.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення. Слід звернути особливу увагу на розрахунок елементів котла на міцність.

**Література:** [1, стор. 431 – 441; 2, стор. 249 – 202; 4, ч. 2 стор. 151 – 157; 5, стор 418 – 443; 10, стор. 176 - 182 ].

### **Питання для самоконтролю**

1. Особистості роботи металу в котельних установках.

- 2.Корозія сталі.
- 3.Температура по зовнішньої та внутрішньої поверхонь труби.
- 4.Середня температура стінки.
- 5.Границя допустимої температури за умовами міцності.
- 6.Окаліноутворення.
- 7.Розрахункові формули.
- 8.Розрахунковий тиск.
- 9.Приклад використання розрахункових формул.
- 10.Мінімальна товщина за умовами виготовлення елементів котла.
- 11.Розрахунок барабанів та днищ.
- 12.Розрахунок колекторів та днищ.
- 13.Позначення марок сталей.
14. Вуглецеві та низьколеговані сталі.
- 15.Розрахунок на міцність змійовиків.
- 16.Розрахунок на міцність фестонів, перегрівників та економайзерів.
- 17.Високолеговані сталі.
- 18.Спеціальні сорти котельних сталей.
- 19.Способи визначення сталі до використання.

## 2. Методи отримання чистої пари. Регулювання температури пари. Випарні поверхні нагріву

1. Якість пари. Забруднення пари котловою водою.
2. Вихід вологи насиченої пари.
3. Піноутворення котловою водою та способи боротьби з нею.
4. Вибірний вихір насиченою парою деяких солей.
5. Основні схеми сучасних сепараційних засобів.
6. Періодична та безперервна продувка котла.
7. Ступеневе випаровування.
8. Промивка пари.
9. Пароперегрівники. Загальні положення.
10. Випарювальні поверхні нагріву.
11. Призначення та класифікація пароперегрівників.
12. Конструкція та компоновка пароперегрівників.
13. Конвективні пароперегрівники.
14. Радіаційні та ширмові пароперегрівники.
15. Регулювання температури пари.

### Методичні вказівки

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці

поняття і визначення. Слід звернути особливу увагу на регулювання температури пари та роботу випарних поверхонь нагріву.

**Література:** [ 1, стор. 381 – 402; 2, стор. 274 – 290; 4, ч. 2, стор. 74 – 94; 5, стор. 365 – 400; 9, стор. 183 - 189].

### **Питання для самоконтролю**

- 1.Класифікація пароперегрівників.
- 2.Конструктивний та режимні фактори, які впливають на температуру перегрітого пару.
- 3.Регулюючі характеристики.
- 4.Поверховий парохолоджувач.
- 5.Принципова схема охолодження та її характеристики
- 6.Паро-паровий теплообмінник.
- 7.Принципова схема пристрою та її характеристики
- 8.Основні принципові схеми підключення парохолоджувачів, які використовуються в Україні та у світі.
- 9.Експлуатаційні характеристики та показники використання поверхневих та вприскувальних парохолоджувачів
- 10.Принципова схема вприскуваного конденсату.
- 11.Основні положення що до розрахунку схеми та її розробки.
- 12.Принципова схема вприску живильної води.
- 13.Основні положення що до розрахунку схеми та її розробки.
- Порівняння схеми вприску власного конденсату та живильної води.
- 14.Порівняння експлуатаційних показників та характеристик усіх засобів регулювання перегрітого пару.
- 15.Основні положення що до вибору методу регулювання перегрітого пару.
- 16.Конструктивні особистості пристроїв регулювання перегрітого пару методом вприску.
- 17.Основні положення що до вибору пристроїв.

### **3. Вибір устаткування котельних. Деаерація води. Водопідготовка**

1. Теплові навантаження і вибір основного устаткування.
2. Вибір насосів.
3. Деаерація води.
4. Утворення накипів і вимога до підживлювальної води.
5. Системи підготовки підживлювальної води.
6. Водний режим і продування котла.
7. Сепарація і промивання пари.

8. Якість води. Вибір методу і схеми підготовки води для водогрійних і пароводогрійних котельних.
9. Використання конденсату.
10. Теплообмінники і баки.
11. Трубопроводи і арматура котельних.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення. Слід звернути особливу увагу на конструкцію та роботу допоміжного устаткування.

**Література:** [1, стор. 266–291; 3, стор. 128–156; 4, ч.2, 63–103; 5, стор. 353–383; 9, стор. 368–397; 10, стор. 171–176].

### **Питання для самоконтролю**

1. Утворення накипів і вимоги до підживлювальної води.
2. Системи підготовки підживлювальної води.
3. Водний режим і продування котла.
4. Сепарація пари.
5. Технічна характеристика вакуумних деаераторів.
6. Можливі схеми вакуумної деаерації підживлювальної води в котельних з водогрійними котлами.
7. Принципова схема включення деаераційної установки атмосферного тиску.
8. Схема коагуляції і вапнування води в освітлювачі.
9. Схема паралельного H-Na-катіонування.
10. Схема установки послідовного H-Na-катіонування.

## **4. Гідродинаміка котла**

1. Умови надійної роботи елементів котла.
2. Режим, структура і характеристика потоку робочого тіла.
3. Характеристика випарних систем.
4. Гідродинаміка котлів з ПЦ.
5. Гідродинаміка прямоточних котлів.
6. Гідродинаміка котлів з багаторазовою примусовою циркуляцією (МПЦ).
7. Гідродинаміка водогрійних котлів.
8. Гідродинаміка економайзера.
9. Гідродинаміка пароперегрівника.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення. Слід звернути особливу увагу на гідравлічний розрахунок котельних агрегатів.

**Література:** [1, стор. 211–254; 5, стор. 313–338; 12].

### **Питання для самоконтролю**

1. Температура стінки поверхні нагріву котла.
2. Умови, що визначають надійну роботу металу.
3. Вибір швидкості пароводяної суміші в котлі і залежність її від навантаження.
4. Структури потоку пароводяної суміші.
5. Рівняння руху пароводяної суміші в котлі.
6. Схеми організації руху води і пароводяної суміші в котлах.
7. Класифікація котлів.
8. Умови, що визначають рух води і пароводяної суміші в котлах з ПЦ.
9. Межові значення тиску, при яких можлива ПЦ.
10. Кратність циркуляції.
11. Схема розрахунку циркуляції.
12. Застій і перекидання циркуляції.
13. Нівелірна і пароутворююча висота циркуляційного контуру.
14. Особливості примусового руху пароводяної суміші.
15. Розподіл робочої речовини між паралельно включеними трубами котла.
16. Шайбування труб.
17. Особливості гідродинаміки водогрійних котлів і економайзера.
18. Гідродинамічні схеми пароперегрівників.
19. Зміна тиску в колекторах пароперегрівників.

## **5. Каркаси, обмуровування, арматура та гарнітура**

1. Каркаси котлоагрегатів.
2. Призначення обмуровування та вимоги до неї.
3. Конструкція обмуровування.
4. Тепловий розрахунок обмуровування.
5. Гарнітура.
6. Арматура парових котлів.
7. Гарнітура парових котлів.



### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення. Слід звернути особливу увагу на конструкцію обмуровування котельних агрегатів та тепловий розрахунок.

**Література:** [ 1, стор. 422 – 431; 4, ч. 2 стор. 169 – 179; 5, стор. 443 – 457; 10, стор. 162 - 171].

### **Питання для самоконтролю:**

- 1.Призначення каркасу та його устаткування.
- 2.Навантаження, які діють на каркас
- 3.Принципи розрахунку рам каркасу.
- 4.Розрахунок та конструювання елементів каркасу.
- 5.Колони та стояки. Приклад розрахунку
- 6.Ферми та балочні конструкції. Приклад розрахунку
- 7.Різнорізності колон. Стиснуті колони.
- 8.Зварювальне з'єднання та їх розрахунок.
- 9.Матеріали обмуровування та ізоляції.
- 10.Накаркасні обмуровування.
- 11.Розрахунок обмуровування.
- 12.Основи проектування обмуровки.
- 13.Способи виконання обмуровки котла

## **6. Компоновка котельних**

1. Компоновка котельних. Загальні положення.
2. Розміщення котельних на генеральному плані.
3. Компоновка котельних з паровими котлами на газомазутному паливі.
4. Компоновка котельних з водогрійними і пароводогрійними котлами на газомазутному паливі.
5. Компоновка комбінованих котельних з паровими і водогрійними котлами на газомазутному паливі.
6. Компоновка котельних з паровими і водогрійними котлами при шаруватому спалюванні твердого палива.
7. Компоновка котельних для камерного спалювання твердого палива.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення. Слід звернути особливу увагу на розміщення,

компоновку котельних установок, автоматизацію та техніко-економічні показники котельних.

**Література:** [3, стор. 130–222; 4, ч.2, 179–188; 9, стор. 398–410].

### **Питання для самоконтролю**

1. Особливості раціональної компоновки.
2. Класифікація компоновок котельних.
3. Схема генерального плану котельної при спалюванні твердого палива.
4. Схема генерального плану котельної при спалюванні мазуту і газу.
5. Компоновка котельної напіввідкритого типу.
6. Компоновка котельної з паровими котлами.
7. Компоновка парової котельної при спалюванні газу і мазуту.
8. Компоновка водогрійної котельної для закритої системи тепло-постачання.
9. Компоновка водогрійної котельної для відкритої системи тепло-постачання.
10. Компоновка водогрійної котельної з газомазутними котлами.
11. Компоновка котельної з водогрійними і паровими котлами при спалюванні газу і мазуту для закритої системи теплопостачання.
12. Компоновка котельної з водогрійними і паровими котлами при спалюванні газу і мазуту для відкритої системи теплопостачання.
13. Компоновка парової котельної з котлами для спалювання твердого палива.
14. Компоновка водогрійної котельної з котлами для твердого палива шарового спалювання.
15. Компоновка комбінованої котельної з водогрійними і паровими котлами для твердого палива камерного спалювання.

## **7. Теплові схеми котельних установок**

1. Характеристика теплової схеми котла.
2. Температура продуктів згорання на виході з топки.
3. Теплосприйняття у випарній системі, економайзері та пароперегрівнику.
4. Підігрівання повітря і розташування економайзера і повітря підігрівника в газовому тракті.
5. Температура вихідних газів.
6. Приклади теплової схеми котлів.
7. Теплові схеми котельної.
8. Основні відомості про теплові схеми котельних.

9. Теплові схеми котельних з паровими котлами.
10. Теплові схеми котельних з водогрійними котлами для закритих систем теплопостачання.
11. Теплові схеми котельних з водогрійними котлами для відкритих систем теплопостачання.
12. Теплові схеми котельних з паровими і водогрійними котлами.
13. Теплові схеми котельних з комбінованими пароводогрійними агрегатами.
14. Теплові схеми установок з контактними підігрівниками. Шляхи використання теплоти низького потенціалу.
15. Робота водогрійних і комбінованих котлів у піковому режимі і включення їх у теплову схему ТЕЦ.
16. Теплові схеми котельних при їх включенні в роботу спільно з ТЕЦ.
17. Удосконалення теплових схем котельних і підвищення ефективності їх роботи.
18. Приклади розрахунків теплових схем котельних.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення. Слід звернути особливу увагу на розрахунок теплової схеми котла та котельної установки.

**Література:** [1, стор. 291–303; 3, стор.91–128; 9, стор. 291–306].

### **Питання для самоконтролю**

1. Теплосприйняття в котлі.
2. Перерозподіл розмірів елементів котла від параметрів пари.
3. Температура газів на виході з топки і її вплив на розподіл теплосприйняття в радіаційних і конвективних поверхнях котла.
4. Межове значення підігрівання повітря при одноступінчатому економайзері і повітропідігрівнику.
5. Вплив температури вихідних газів на розміри конвективних поверхонь котла і витрату енергії на тягу і дуття.
6. Принципова теплова схема.
7. Розгорнена теплова схема.
8. Робоча теплова схема.
9. Основна мета розрахунку теплової схеми котельної.
10. Принципова теплова схема виробничої котельної.
11. Схеми приєднання підігрівників мереженої води до парових котлів.
12. Схеми приєднання підігрівників води для потреб гарячого водопостачання.
13. Принципова теплова схема котельної з паровими котлами.

14. Розгорнена теплова схема котельної з паровими котлами.
15. Принципова теплова схема котельної з водогрійними котлами.
16. Розгорнена теплова схема котельної з трьома водогрійними котлами.
17. Загальностанційна компоновка котлів, мережевих і рециркуляційних насосів.
18. Принципова теплова схема котельної з водогрійними котлами.
19. Розгорнена теплова схема котельної з водогрійними котлами.
20. Принципова теплова схема котельної з водогрійними і паровими котлами.
21. Розгорнена теплова схема котельної з водогрійними і паровими котлами.
22. Теплова схема котельної з пароводогрійними котлами.
23. Принципова теплова схема установки КААН (контактні апарати з активною насадкою).
24. Схеми циркуляції нагрівальної води власних потреб котельної з водогрійними котлами.

## **8. Основні поняття про котельні агрегати і їх роботу**

1. Характеристики і конструкції котлів. Загальні характеристики котлів.
2. Котли спеціального призначення.
3. Водогрійні і пароводогрійні котли.
4. Котли виробничих технологічних систем.
5. Комбіновані енерготехнологічні агрегати.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення. Слід звернути особливу увагу на конструкцію котельних агрегатів та їх роботу, призначення.

**Література:** [1, стор. 303–361; 3, стор. 17–63; 4, ч.2, стор. 5–40; 5, стор. 215–280; 9, стор. 177–291; 10, стор. 5–37].

### **Питання для самоконтролю**

1. Загальні характеристики котлів.
2. Котли з ПЦ низького тиску.
3. Енергетичні котли з ПЦ.
4. Прямоточні котли.
5. Компоновка котлів.
6. Низьконапірні, високонапірні, паровиробничі установки.

7. Котли непрямої дії і з неводяними теплоносіями.
8. Пересувні котли.
9. Електрокотли.
10. Водогрійні і пароводогрійні котли. Основні характеристики котлів.
11. Конструкції водогрійних котлів.
12. Пароводогрійні котли.
13. Умови і ефективність застосування котлів у технологічних системах.
14. Котли на виробничих газах, що відходять.
15. Котли, що використовують теплоту технологічного продукту.
16. Отримання пари в елементах технологічних установок і його перегрівання.
17. Особливості енерготехнологічного тепловикористання.
18. Енерготехнологічні агрегати для високотемпературних і низькотемпературних процесів.
19. Парові котли Білгородського заводу «Енергомаш».
20. Парові котли Бійського котельного заводу.
21. Парові котли Таганрогського заводу «Червоний котельщик».
22. Особливості роботи сталевих прямоточних водогрійних котлів.
23. Газомазутні водогрійні котли.
24. Водогрійні котли на твердому паливі.
25. Конструкція комбінованих водогрійних котлів на базі серійних прямоточних водогрійних котлів.

## **9. Абразивний знос, корозія, забруднення і очищення поверхонь нагріву**

1. Абразивний знос.
2. Корозія металу елементів котла.
3. Високотемпературна корозія зовнішніх поверхонь нагрівання.
4. Низькотемпературна корозія зовнішніх поверхонь нагрівання.
5. Корозія металу внутрішніх поверхонь нагрівання.
6. Забруднення поверхонь нагрівання.
7. Очищення зовнішніх поверхонь нагріву від забруднень.

### **Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення. Слід звернути особливу увагу на умови виникнення абразивного зносу, корозії та забруднення поверхонь нагрівання, а також на засоби ліквідації цих явищ.

**Література:** [1, стор. 441–459; 9, стор. 164–165; 10, стор. 159–162].

**Питання для самоконтролю**

1. Знос труб котла.
2. Високотемпературна і низькотемпературна корозія зовнішніх поверхонь котла, способи захисту.
3. Корозія внутрішніх поверхонь нагрівання котла.
4. Зовнішнє забруднення поверхонь нагрівання котла. Способи очищення і їх ефективність.

**10. Золоуловлювання. Золошлаковидалення**

1. Вихід і характеристики шлаку і золи.
2. Золоуловлювання.
3. Порівняльні характеристики золоуловлювачів.
4. Золошлаковидалення.
5. Механічна система шлакозоловидалення.
6. Пневматична система шлакозоловидалення.
7. Гідравлічна система шлакозоловидалення.

**Методичні вказівки**

Матеріали цієї теми є необхідним комплексом визначень і понять, на базі яких викладаються подальші теми, тому студент повинен засвоїти ці поняття і визначення. Слід звернути особливу увагу на методи видалення шлаку та золи із котельного агрегату.

**Література:** [1, стор. 483–490; 3, стор. 175–179; 4, стор. 140–151].

**Питання для самоконтролю**

1. Типи золоуловлювачів, їх вибір.
2. Вихід і характеристики шлаку і золи.
3. Системи шлакозоловидалення.
4. Основні вимоги, що пред'являються до систем шлакозоловидалення.
5. Дві стадії процесу шлакозоловидалення.
6. Розподіл кількостей шлаку і золи.
7. Загальна кількість шлаку і золи.
8. Вибір системи золошлаковидалення.
9. Способи золошлаковидалення в дрібних опалювальних котельних залежно від  $G_{\text{зш}}$ .
10. Вагонетковий спосіб золошлаковидалення.
11. Схеми механічного способу золошлаковидалення (переваги та недоліки).

12. Принципові схеми гідрозолошлаковидалення. Переваги і недоліки.
13. Пневматична система золошлаковидалення.
14. Пневмогідравлічний спосіб золошлаковидалення.
15. Основні групи золоуловлювання.
16. Золоуловлюючі пристрої для сухого очищення димових газів. Переваги та недоліки.
17. Золоуловлюючі пристрої для мокрого очищення димових газів. Переваги та недоліки.
18. Електрофільтри. Переваги та недоліки.
19. Комбіновані золоуловлювачі.

## **КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ до курсу «ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ПРОМИСЛОВІ КОТЛИ»**

### **Методичні вказівки**

До виконання завдання і розв'язання задачі слід приступати тільки після вивчення даного розділу курсу. Тільки цілеспрямоване розв'язання задачі принесе користь і допоможе закріпленню знань. Перед виконанням контрольної роботи рекомендується ознайомитися з алгоритмом розв'язання аналогічних задач з навчальної літератури.

Номер варіанта контрольної роботи співпадає з порядковим номером студента в журналі.

Контрольне завдання складається з теоретичної і практичної частин.

### **Теоретична частина**

Студенти повинні дати письмові відповіді на питання, номери яких показані в табл. 1.

Таблиця 1 – Номери питань до контрольної роботи

№ варіанта	№ теми	№ питання
1	1	1-7
	10	1-7
2	2	1-6
	9	1-4
3	3	1-5
	8	1-8
4	4	1-7
	7	7-12

Продовження таблиці 1

5	5 6	1-7 1-5
6	6 5	6-10 8-13
7	7 4	1-6 8-14
8	8 3	9-16 6-10
9	9 2	1-4 7-12
10	10 1	15-19 15-19
11	1 10	8-14 8-14
12	2 9	13-18 1-4
13	3 8	1-5 17-25
14	4 7	15-19 13-18
15	5 6	8-13 11-15

**Методичні вказівки до теоретичної частини  
контрольного завдання**

При оформленні контрольного завдання необхідно повністю наводити формулювання питань. Відповіді на поставлені питання повинні бути вичерпними і супроводжуватися необхідними малюнками і схемами з позначенням усіх елементів, текстом, поясненнями.

*Практична частина*

Практична частина контрольного завдання складається з розрахунку дробоочищення для тих котлів вітчизняного і зарубіжного виробництва, що працюють на твердому паливі або мазуті.

Розрахунок починають з вибору котельного устаткування, його технічної характеристики і короткого опису. Слід додати до характеристики і ескіз, схему або рисунок котла.

Дробоочищення застосовується для очищення конвективних поверхонь нагріву за наявності на них ущільнених і зв'язаних відкладень. Очищення відбувається в результаті використання кінетичної енергії падаючих на



поверхні, що піддаються очищенню, чавунних дробинок діаметром 3–5 мм. Схема пристрою для дробоочищення показана на рис. 1. У верхній частині конвективної шахти котла розміщуються розкидачі, які рівномірно розподіляють дріб по перетину газоходу. При падінні дріб збиває золу, що осіла на трубах, а потім разом з нею збирається в бункерах, розташованих під шахтою. З бункерів дріб разом із золою потрапляє в збірний бункер, з якого живильник подає їх у трубопровід, де маса золи з дробом підхоплюється повітрям і виноситься у дробоуловлювач, з якого дріб по рукавах знов подається в розкидачі, а повітря разом з частинками золи прямує в циклон, де відбувається їх розділення. З циклону повітря скидається в газохід перед димососом, а зола, що осіла в циклоні, видаляється в систему золовидалення котельної установки.

Транспортування дробу здійснюється за всмоктуючою (див. рис. 1,а) або нагнітальною (див. рис. 1,б) схемою. За всмоктуючою схемою розрідження в системі створюється паровим ежектором або вакуум-насосом. За нагнітальною схемою транспортує повітря подається в інжектор від компресора. Для транспортування дробу необхідна швидкість повітря 40–50 м/с.

1. Визначення кількості пневмоліній:

Ширина і глибина газоходу вибирається за кресленням даного котлоагрегату (а, мм; в, мм).

2. Площа перетину газоходу,  $\text{м}^2$ , визначається за формулою

$$F_z = a \cdot b$$

Розкидач обслуговує перетин по газоходу, який дорівнює 2,5х2,5 м. Одна пневмолінія обслуговує два розкидача.

3. Пневмолінія обслуговує перетин по газоходу, який дорівнює

$$П = 2 \cdot P = 5 \cdot 2,5 \text{ м}.$$

4. Площа перетину пневмолінії,  $\text{м}^2$

$$F_n = 12,5$$

5. Кількість пневмоліній:

$$n = F_r / F_n$$

6. Витрата дробу через систему:

$$G_{\text{др}} = (g_{\text{др}} F_r) / (n \tau)$$

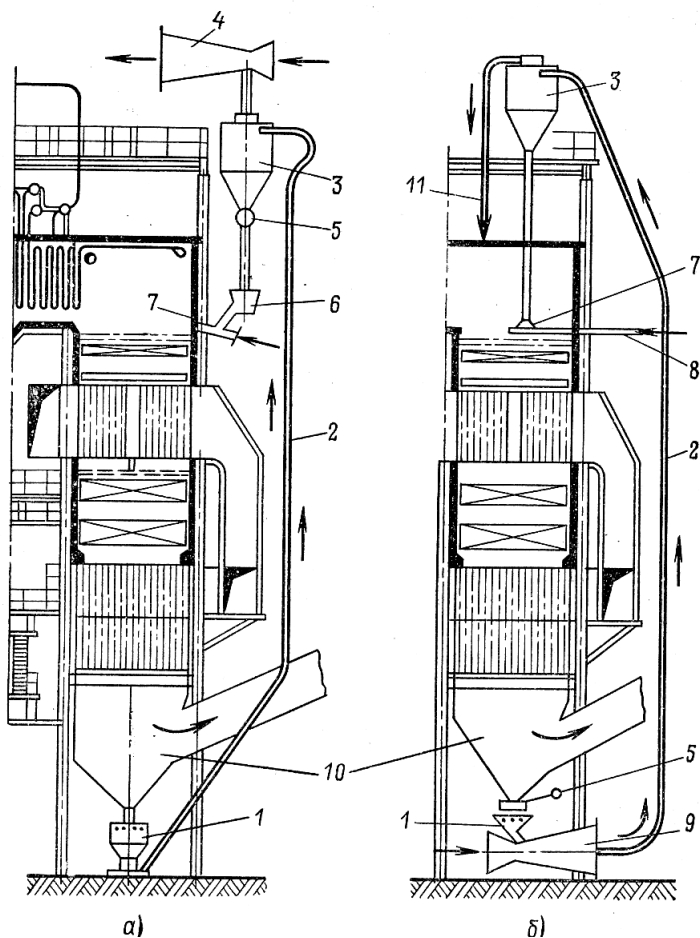


Рисунок 1 – Схеми дробоочищувальних установок:

а) установка під розрідженням з пневматичним закидачем дробу;

б) установка під тиском з верхнім закиданням дробу;

1 – бункер для дробу; 2 – трубопровід для подачі дробу; 3 – дробоуловлювач-циклон; 4 – ежектор; 5 – автоматичний клапан-мигалка; 6 – тарілчастий живильник; 7 – розкидач дробу; 8 – підведення охолоджувальної води; 9 – інжектор; 10 – вихід продуктів згорання; 11 – вихід повітря з пилоуловлювача.

де  $g_{др} = 100\text{--}200 \text{ кг/м}^2$  – питома витрата дробу на  $1 \text{ м}^2$  перетину газоходу;

$n$  – кількість пневмоліній;

$\tau$  – тривалість періоду очищення, с. Звичайно  $\tau = 20\text{--}60 \text{ с}$ .

Результати розрахунку слід звести в таблицю. Тривалість періоду очищення слід розбити з кроком у 5 с., а питому витрату дробу з кроком у 10  $\text{кг/м}^2$ .

Результати розрахунку слід звести в таблицю. Тривалість періоду очищення слід розбити з кроком у 5 с., а питому витрату дробу з кроком у 10  $\text{кг/м}^2$ .

Слід побудувати графічне зображення залежності витрати дробу через систему від питомої витрати ( $\tau_{\max} = 60 \text{ с} - \tau_{\min} = 20 \text{ с}$ ).

Слід побудувати графічне зображення залежності витрати дробу через систему від тривалості періоду очищення ( $g_{др} = 100\text{--}200 \text{ кг/м}^2$ ).

## МОДУЛЬНІ КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

### Модульна контрольна робота 1 «Матеріали та розрахунок на міцність. Методи регулювання параметрами пару.»

#### Перелік рекомендованих питань:

1. Структура енергосистеми промислового підприємства.
2. Котельня установка в системі промислової ТЕЦ.
3. Принципова, технологічна схема котельної установки.
4. Розвиток тепло- і електроенергетики.
5. Типи котельних установок залежно від характеру теплових навантажень.
6. Категорії котельних залежно від надійності тепlopостачання споживачів.
7. Мережевий графік (річний графік, добовий графік  $K_{з.г}$ ,  $K_{з.с}$ ,  $h_0$ ).
8. Графіки навантаження для опалювальної, котельної і виробничо-опалювальної котельної.
9. Типові проекти котельних.
10. Тимчасові котельні.
11. Загальна схема котла, його елементи і їх призначення
12. Особистості роботи металу в котельних установках.
13. Корозія сталі.
14. Температура по зовнішньої та внутрішньої поверхонь труби.
15. Середня температура стінки.
16. Границя допустимої температури за умовами міцності.
17. Окаліноутворення.
18. Розрахункові формули.
19. Розрахунковий тиск.
20. Приклад використання розрахункових формул.
21. Мінімальна товщина за умовами виготовлення елементів котла.
22. Розрахунок барабанів та днищ.
23. Розрахунок колекторів та днищ.
24. Позначення марок сталей.
25. Вуглеводисті та низьколеговані сталі.
26. Розрахунок на міцність змійовиків
27. Розрахунок на міцність фестонів, перегрівників та економайзерів.
28. Високолеговані сталі
29. Спеціальні сорти котельних сталей
30. Способи визначення сталі до використання
31. Класифікація пароперегрівників.
32. Конструктивний та режимні фактори, які впливають на температуру перегрітого пару.

- 33.Регулюючі характеристики.
- 34.Поверховий пароохолоджувач.
- 35.Принципова схема охолодження та її характеристики
- 36.Паро-паровий теплообмінник.
- 37.Принципова схема пристрою та її характеристики
- 38.Основні принципові схеми підключення пароохолоджувачів, які використовуються в Україні та у світі.
- 39.Експлуатаційні характеристики та показники використання поверхніх та вприскувальних пароохолоджувачів
- 40.Принципова схема вприскуваного конденсату.
- 41.Основні положення що до розрахунку схеми та її розробки.
- 42.Принципова схема вприску живильної води.
- 43.Основні положення що до розрахунку схеми та її розробки.
- 3.Порівняння схеми вприску власного конденсату та живильної води.
- 44.Порівняння експлуатаційних показників та характеристик усіх засобів регулювання перегрітого пару.
- 45.Основні положення що до вибору методу регулювання перегрітого пару.
- 46.Конструктивні особистості пристроїв регулювання перегрітого пару методом вприску
- 47.Основні положення що до вибору пристроїв
48. Утворення накипів і вимоги до підживлювальної води.
49. Системи підготовки підживлювальної води.
50. Водний режим і продування котла.
51. Сепарація пари.
52. Технічна характеристика вакуумних деаераторів.
53. Можливі схеми вакуумної деаерації підживлювальної води в котельних з водогрійними котлами.
54. Принципова схема включення деаераційної установки атмосферного тиску.
55. Схема коагуляції і вапнування води в освітлювачі.
56. Схема паралельного Н-Na-катіонування.
57. Схема установки послідовного Н-Na-катіонування.
58. Температура стінки поверхні нагріву котла.
59. Умови, що визначають надійну роботу металу.
60. Вибір швидкості пароводяної суміші в котлі і залежність її від навантаження.
61. Структури потоку пароводяної суміші.
62. Рівняння руху пароводяної суміші в котлі.
63. Схеми організації руху води і пароводяної суміші в котлах.
64. Класифікація котлів.
65. Умови, що визначають рух води і пароводяної суміші в котлах з

ПЦ.

66. Межові значення тиску, при яких можлива ПЦ.
67. Кратність циркуляції.
68. Схема розрахунку циркуляції.
69. Застій і перекидання циркуляції.
70. Нівелірна і пароутворююча висота циркуляційного контуру.
71. Особливості примусового руху пароводяної суміші.
72. Розподіл робочої речовини між паралельно включеними трубами котла.
73. Шайбування труб.
74. Особливості гідродинаміки водогрійних котлів і економайзера.
75. Гідродинамічні схеми пароперегрівників.
76. Зміна тиску в колекторах пароперегрівників.
77. Призначення каркасу та його устаткування.
78. Навантаження, які діють на каркас
79. Принципи розрахунку рам каркасу.
80. Розрахунок та конструювання елементів каркасу.
81. Колони та стояки. Приклад розрахунку
82. Ферми та балочні конструкції. Приклад розрахунку
83. Різномунітності колон. Стиснуті колон.
84. Зварювальне з'єднання та їх розрахунок.
85. Матеріали обмуровування та ізоляції.
86. Накаркасні обмуровування.
87. Розрахунок обмуровування.
88. Основи проектування обмуровки.
89. Способи виконання обмуровки котла.

## Модульна контрольна робота 2

### **«Каркаси котла та обмуровування. Типи компоновок котельних агрегатів. Теплові схеми та типові конструкції сучасних котельних агрегатів»**

#### **Перелік рекомендованих питань:**

1. Особливості раціональної компоновки.
2. Класифікація компоновок котельних.
3. Схема генерального плану котельної при спалюванні твердого палива.
4. Схема генерального плану котельної при спалюванні мазуту і газу.
5. Компоновка котельної напіввідкритого типу.
6. Компоновка котельної з паровими котлами.
7. Компоновка парової котельної при спалюванні газу і мазуту.
8. Компоновка водогрійної котельної для закритої системи тепло-постачання.

9. Компоновка водогрійної котельної для відкритої системи теплопостачання.
10. Компоновка водогрійної котельної з газомазутними котлами.
11. Компоновка котельної з водогрійними і паровими котлами при спалюванні газу і мазуту для закритої системи теплопостачання.
12. Компоновка котельної з водогрійними і паровими котлами при спалюванні газу і мазуту для відкритої системи теплопостачання.
13. Компоновка парової котельної з котлами для спалювання твердого палива.
14. Компоновка водогрійної котельної з котлами для твердого палива шарового спалювання.
15. Компоновка комбінованої котельної з водогрійними і паровими котлами для твердого палива камерного спалювання.
16. Теплосприйняття в котлі.
17. Перерозподіл розмірів елементів котла від параметрів пари.
18. Температура газів на виході з топки і її вплив на розподіл теплосприйняття в радіаційних і конвективних поверхнях котла.
19. Межове значення підігрівання повітря при одноступінчатому економайзері і повітропідігрівнику.
20. Вплив температури вихідних газів на розміри конвективних поверхонь котла і витрату енергії на тягу і дуття.
21. Принципова теплова схема.
22. Розгорнена теплова схема.
23. Робоча теплова схема.
24. Основна мета розрахунку теплової схеми котельної.
25. Принципова теплова схема виробничої котельної.
26. Схеми приєднання підігрівників мереженої води до парових котлів.
27. Схеми приєднання підігрівників води для потреб гарячого водопостачання.
28. Принципова теплова схема котельної з паровими котлами.
29. Розгорнена теплова схема котельної з паровими котлами.
30. Принципова теплова схема котельної з водогрійними котлами.
31. Розгорнена теплова схема котельної з трьома водогрійними котлами.
32. Загальностанційна компоновка котлів, мережевих і рециркуляційних насосів.
33. Принципова теплова схема котельної з водогрійними котлами.
34. Розгорнена теплова схема котельної з водогрійними котлами.
35. Принципова теплова схема котельної з водогрійними і паровими котлами.
36. Розгорнена теплова схема котельної з водогрійними і паровими котлами.
37. Теплова схема котельної з пароводогрійними котлами.

38. Принципова теплова схема установки КААН (контактні апарати з активною насадкою).
39. Схеми циркуляції нагрівальної води власних потреб котельної з водогрійними котлами.
40. Загальні характеристики котлів.
41. Котли з ПЦ низького тиску.
42. Енергетичні котли з ПЦ.
43. Прямоточні котли.
44. Компоновка котлів.
45. Низьконапірні, високонапірні, паровиробничі установки.
46. Котли непрямої дії і з неводяними теплоносіями.
47. Пересувні котли.
48. Електрокотли.
49. Водогрійні і пароводогрійні котли. Основні характеристики котлів.
50. Конструкції водогрійних котлів.
51. Пароводогрійні котли.
52. Умови і ефективність застосування котлів у технологічних системах.
53. Котли на виробничих газах, що відходять.
54. Котли, що використовують теплоту технологічного продукту.
55. Отримання пари в елементах технологічних установок і його перегрівання.
56. Особливості енерготехнологічного тепловикористання.
57. Енерготехнологічні агрегати для високотемпературних і низькотемпературних процесів.
58. Парові котли Білгородського заводу «Енергомаш».
59. Парові котли Бійського котельного заводу.
60. Парові котли Таганрогського заводу «Червоний котельщик».
61. Особливості роботи сталевих прямоточних водогрійних котлів.
62. Газомазутні водогрійні котли.
63. Водогрійні котли на твердому паливі.
64. Конструкція комбінованих водогрійних котлів на базі серійних прямоточних водогрійних котлів.
65. Знос труб котла.
66. Високотемпературна і низькотемпературна корозія зовнішніх поверхонь котла, способи захисту.
67. Корозія внутрішніх поверхонь нагрівання котла.
68. Зовнішнє забруднення поверхонь нагрівання котла. Способи очищення і їх ефективність.
69. Типи золоуловлювачів, їх вибір.
70. Вихід і характеристики шлаку і золи.
71. Системи шлакозоловидалення.



72. Основні вимоги, що пред'являються до систем шлакозоловидалення.
73. Дві стадії процесу шлакозоловидалення.
74. Розподіл кількостей шлаку і золи.
75. Загальна кількість шлаку і золи.
76. Вибір системи золошлаковидалення.
77. Способи золошлаковидалення в дрібних опалювальних котельних залежно від  $G_{\text{зш}}$ .
78. Вагонетковий спосіб золошлаковидалення.
79. Схеми механічного способу золошлаковидалення (переваги та недоліки).
80. Принципові схеми гидрозолошлаковидалення. Переваги і недоліки.
81. Пневматична система золошлаковидалення.
82. Пневмогідравлічний спосіб золошлаковидалення.
83. Основні групи золоуловлювання.
84. Золоуловлюючі пристрої для сухого очищення димових газів. Переваги та недоліки.
85. Золоуловлюючі пристрої для мокрого очищення димових газів. Переваги та недоліки.
86. Електрофільтри. Переваги та недоліки.
87. Комбіновані золоуловлювачі.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Сидельковский Л. Н. Котельные установки промышленных предприятий : Учебник для вузов/ Л. Н. Сидельковский – 3 изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Стырикович М.А. Парогенераторы электростанций,/ М. А. Стырикович – М.;Л., Энергия, 1966.
3. Бузников Е. Ф. Производственные и отопительные котельные/ Е. Ф. Бузников – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Парогенераторы / под ред. А.П. Ковалева, – М.;Л.: Энергия, 1988.
5. Рабинович О. М. Котельные агрегаты/ О.М. Рабинович – Л.: Машгиз, 1963.
6. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова. – М.: Энергия, 1973.
7. Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод) / под ред. С.И. Мочана. – М.: Энергия, 1973.
8. ОСТ 10 8.031.08-85. ОСТ 10 8.031.10-85. Котлы стационарные и трубопроводы пара и горячей воды. Нормы расчета на прочность. – М., 1987.
9. Роддатис К. Ф. Котельные установки: учеб.пособие для студентов неэнергетических специальностей вузов./ К.Ф. Роддатис. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.
10. Александров В. П. Паровые котлы малой и средней мощности / В.П. Александров – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1972. – 200 с.
11. Скалкин Ф. В. Энергетика и окружающая среда. / Ф.В. Скалкин – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – 280 с.
12. Гидравлический расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. В.А. Локшина. – М.: Энергия, 1978. – 256 с.

## ЗМІСТ

Передмова	3
Загальні положення	3
1. Метали та міцність елементів котла.	
Розрахунок елементів котла на міцність	4
2. Методи отримання чистої пари.	
Регулювання температури пари. Випарні поверхні нагріву	5
3. Вибір устаткування котельних.	
Деаерація води. Водопідготовка	6
4. Гідродинаміка котла	7
5. Каркаси, обмуровування, арматура та гарнітура	8
6. Компоновка котельних	9
7. Теплові схеми котельних установок	10
8. Основні поняття про котельні агрегати і їх роботу	12
9. Абразивний знос, корозія, забруднення і очищення поверхонь нагріву	13
10. Золоуловлювання. Золошлаковидалення	14
Контрольне завдання	17
Модульні контрольні роботи	20
Список літератури	26

Навчальне видання

Програма, методичні вказівки, контрольні завдання з курсу  
**«Енергетичні та промислові котли»** для студентів спеціальності 7.090505  
**«Котли та реактори»** усіх форм навчання

Укладачі: **ЄФІМОВ Олександр Вячеславович**  
**ТЮТЮНИК Лариса Іванівна**  
**КАВЕРЦЕВ Валерій Леонідович**

Відповідальний за випуск О. В. Єфімов  
Роботу до друку рекомендував Е. Г. Братута

В авторській редакції

План 2011р., поз. XX/ XX

Підп. до друку XX.XX.11. Формат 60x84 1/16. Папір офсет. №2.  
Друк – ризографія. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 2,2.  
Обл. – вид. арк. 2,5. Наклад 50 прим. Зам. № . Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХПІ» 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Свідectво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.

---

Друкарня НТУ «ХПІ». 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.